Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 629-641

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۶، شماره ۵، آذر- دی ۱۳۹۹، ص.۶۴۱-۶۲۹

مقاله علمی- پژوهشی

بررسی اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا و تغییر اندازه ذرات آرد سوخاری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمایی ناگت مرغ

مریم سادات ستوده[۱]- نفیسه سلطانی‌زاده[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی نقش اندازه ذرات آرد سوخاری و اثر افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری و خمیرآبه بر ویژگی‌های ناگت مرغ بود. آرد سوخاری در سه اندازه ریز، متوسط و درشت تهیه شد. سپس ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا به‌طور جداگانه یک بار به آرد سوخاری با اندازه ذرات متفاوت و یک بار به خمیرآبه افزوده شد و در تهیه ناگت مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، مقدار جذب آرد سوخاری، میزان رطوبت، افت پخت، تخلخل، جذب روغن، رنگ و ویژگی‌های بافتی ناگت‌های مرغ مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز، بیشترین محتوی رطوبت و کمترین تخلخل و جذب روغن را داشتند. استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه تغییرات قابل توجهی در خصوصیات بافتی ایجاد کرد اما تاثیر معنی‌داری بر رنگ نداشت. این در حالی است که افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری اثر معنی‌دار بیشتری در نگهداری رطوبت و کاهش افت پخت، تخلخل و جذب روغن نشان داد. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری تاثیر معنی‌داری در کاهش جذب روغن و بهبود ویژگی‌های ناگت مرغ نسبت به افزودن این ترکیب به خمیرآبه داشت. به‌طور کلی استفاده از آرد سوخاری ریز که دارای ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا است می‌تواند نقش قابل توجهی در بهبود ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای ناگت مرغ داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ایزوله پروتئین سویا، ناگت مرغ، آرد سوخاری، لایه خمیرآبه

مقدمه

در دهه‌های اخیر و با گسترش زندگی صنعتی، تقاضا برای مصرف مواد غذایی نیمه آماده افزایش چشمگیری داشته است. یکی از محبوب‌ترین و متداول‌ترین غذاهای نیمه آماده ناگت‌ها هستند که جزء محصولات خمیری پوشش داده شده و سوخاری می‌باشند. سرخ کردن عمیق یک فرایند پخت برای این دسته از مواد غذایی است که به دلایل مختلف از جمله سرعت پخت بالا و صرفه جویی در زمان و ویژگی‌های حسی مطلوب مثل طعم، رنگ و بافت مناسب، محبوبیت و بازار پسندی بسیار زیادی نسبت به دیگر روش‌های پخت دارد (Holownia *et al.*, 2000). اما مشکل اصلی در ارتباط با مواد غذایی سرخ شده، میزان جذب زیاد روغن در طول فرایند سرخ کردن عمیق است که اثرات سوء بر سلامت انسان از جمله افزایش وزن، تشدید ابتلا به کلسترول و فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی و عروقی، سرطان و غیره دارد (Xavier *et al.*, 2017). همچنین جذب بیش از حد روغن روی خصوصیات ظاهری محصول (تیرگی رنگ) و کاهش کیفیت و عمر ماندگاری تاثیرگذار است. طی فرایند سرخ کردن بر اساس مکانیسم انتقال جرم و حرارت، آب موجود در محصول تبخیر شده و با ایجاد تخلخل، شرایط برای نفوذ و جایگزینی روغن به داخل بافت محصول فراهم می‌شود. از این رو محققان صنایع غذایی راهکارهای موثری را در جهت کاهش جذب روغن و اصلاح و بهبود ویژگی‌های ماده غذایی ارائه داده‌اند. یکی از روش‌های کاهش جذب روغن و افزایش کیفیت ناگت، به‌کارگیری هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون ناگت می‌باشد. در بحث تاثیر هیدروکلوئیدها در کاهش جذب روغن، مکانیسم فعالیت هیدروکلوئیدها از طریق اتصال با مولکول‌های آب و حفظ رطوبت، تغییر خاصیت هیدروفوبی سطح و تشکیل ژل حرارتی می‌باشد که به این ترتیب تبخیر آب و انتشار رطوبت از لایه داخلی و میانی به سطح و درنتیجه میزان تخلخل کاهش می‌یابد و میزان جذب روغن و محتوی روغن محصولات سرخ شده را نیز کاهش می‌دهد (Holownia *et al.*, 2000).

Kurt و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد ایزوله پروتئین سویا و ایزوله پروتئین‌های آب پنیر به‌صورت محلول فیلم پوشش‌دهنده روی قطعات سینه مرغ، تاثیر این ترکیبات در کاهش جذب روغن را مشاهده نمودند.

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: soltanizadeh@iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82491

Dogan و همکاران (۲۰۰۵) از آلبومین سفیده تخم‌مرغ، ایزوله پروتئین سویا و ایزوله پروتئین آب پنیر در لایه خمیرآبه ناگت مرغ استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که ایزوله پروتئین سویا در کاهش جذب روغن طی فرایند سرخ کردن عمیق موثرتر است. آلبومین سفیده تخم‌مرغ نیز در کاهش جذب روغن موثر بوده و می‌تواند جذب روغن در قطعات سینه مرغ را تا ۲۷ درصد کاهش دهد (Myers *et al.*, 2012). Nayak و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد صمغ کاراگینان در سه سطح (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ درصد) در فرمولاسیون خمیر ناگت مرغ گزارش کردند که نمونه‌ی حاوی ۰/۷۵ درصد کاراگینان، بیشترین میزان رطوبت و کمترین محتوی چربی و بیشترین بازده سرخ کردن را داشت.

ایزوله پروتئین سویا یکی از ترکیباتی است که در صنایع غذایی به‌منظور بهره‌گیری از خصوصیات عملکردی آن در بسیاری از محصولات غذایی مانند فرآورده‌های گوشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ترکیب حداقل ۹۰ درصد پروتئین دارد که با فرایندهایی که بر روی کنسانتره پروتئین سویا به‌منظور حذف ناخالصی‌ها انجام می‌گیرد، خلوص آن افزایش می‌یابد. اما اسیدهای آمینه گوگرد دار آن به میزان زیادی از بین می‌روند. از این جهت، ارزش تغذیه‌ای آن از کنسانتره سویا کمتر است. مهمترین زیرواحدهای موجود در ایزوله پروتئین سویا، گلایسینین[1] (گلوبولین‌s ۱۱) و بتا کانگلایسینین[2] (گلوبولین 7s) هستند (Liu *et al.*, 2017). این زیرواحدها در شرایط مختلف pH، قدرت یونی و دما با یکدیگر پیوند داده و ژل‌های سرد و یا حرارتی به‌وجود می‌آورند (Maltais *et al.*, 2005). همچنین ایزوله پروتئین سویا از خاصیت امولسیون‌کنندگی بسیار خوبی برخوردار است که از آن در تولید مواد غذایی بهره برده می‌شود (Molina, 2001).

با توجه به اهمیت بهبود ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی آماده مصرف که امروزه با اقبال مصرف‌کنندگان روبه رو شده‌اند، لازم است توجه ویژه‌ای به‌نحوه آماده‌سازی این نوع مواد غذایی صورت گیرد. ناگت مرغ یکی از این مواد غذایی است که به دلیل سهولت آماده‌سازی جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی افراد یافته است. از آن جا که برای فراوری این ماده غذایی از روش سرخ کردن استفاده می‌شود، میزان زیادی روغن توسط آن جذب شده و مصرف طولانی مدت آن، آسیب‌های جدی به سلامت مصرف‌کنندگان وارد خواهد نمود. تاکنون تلاش‌های زیادی در راستای تغییر فرمولاسیون ناگت مرغ صورت گرفته تا بدین طریق جذب روغن در آن کاهش یابد اما آنچه از دید محققان پنهان مانده است اثر ساختار فیزیکی ناگت مرغ در جذب روغن و سایر ویژگی‌های آن از جمله بافت، رنگ و غیره است. لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر اندازه ذرات آرد سوخاری بر مقدار جذب آرد سوخاری، میزان رطوبت، افت پخت، تخلخل، رنگ، بافت و به‌خصوص جذب روغن ناگت مرغ است. همچنین اثر اضافه کردن ایزوله پروتئین سویا به لایه آرد سوخاری بر بهبود ویژگی‌های ناگت مرغ بررسی می‌گردد و با اضافه کردن این هیدروکلوئید در خمیرآبه مقایسه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

پترولیوم اتر(پارس شیمی، ایران)، بتا کاروتن ۳۰٪ محلول در روغن (BASF، آلمان)، ایزوله پروتئین سویا (Merck، آلمان)، آرد سوخاری (نان گستر سپاهان، ایران) و روغن سرخ کردنی آلمو (ایران) تهیه شدند.

تهیه آرد سوخاری

آرد سوخاری از کارخانه نان گستر سپاهان واقع در شهرک صنعتی جی اصفهان تهیه گردید و سپس با استفاده از الک به سه اندازه ریز، متوسط و درشت تقسیم شد. از الک‌های با مش۴۰ (۰/۴۲ mm) و ۶۰ (۰/۲۵ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه ریز، الک‌های با مش ۱۸ (۱ mm) و۲۰ (۰/۸۴ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه متوسط و الک‌های با مش ۱۰ (۲ mm) و ۱۲ (۱/۶۸ mm) برای تهیه آرد سوخاری با اندازه درشت استفاده شد.

اندازه‌گیری قابلیت جذب ایزوله پروتئین سویا

مقدار ۰/۰۵ گرم از این هیدروکلوئید به ۵ گرم آب افزوده و به‌خوبی مخلوط شد و سپس ظرفیت نگهداری آب لحظه‌ای و تدریجی (بعد از ۳ ساعت هیدراته شدن) محاسبه گردید. در حالت لحظه‌ای، بلافاصله پس از افزودن آب، محلول هیدروکلوئید به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و دور g ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد. ارزیابی ظرفیت نگهداری آب تدریجی نمونه، بعد از ۳ ساعت قرارگیری در انکوباتور شیکردار، در همان شرایط انجام شد. پس از جداسازی فاز بالایی، نمونه توزین شد و طبق معادله زیر، قابلیت جذب آب محاسبه گردید.

$$\text{قابلیت جذب آب} = \frac{\text{وزن اپندرف و صمغ} - \text{وزن اپندرف}}{\text{وزن اولیه صمغ}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

تهیه ناگت مرغ

ناگت مرغ از کارخانه ماهور (پاپلس) واقع در شهرک صنعتی سروش بادران اصفهان تهیه شد. به‌منظور تولید ناگت، خمیر ناگت، تهیه و قالب زنی شده و به‌وسیله ماشین‌های پوشش‌دهنده، به‌ترتیب آرد گندم و خمیرآبه متشکل از آرد گندم، ادویه‌جات، نشاسته، تخم‌مرغ و آب بر روی نمونه‌ها ریخته شد و سپس نمونه‌ها با آرد سوخاری پوشش داده شدند. به‌منظور بررسی اثر افزودن هیدروکلوئید روی ویژگی‌های کیفی ناگت، ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا براساس وزن آرد سوخاری، به‌طور جداگانه و در حالت خشک و غیرمحلول به آرد سوخاری تهیه شده در سه اندازه ریز، متوسط و درشت افزوده و روی سطح ناگت‌ها پوشش داده شدند.

---

1 Glycinin

2 β- Conglycinin

در مرحله دوم هیدروکلوئید نامبرده با همان غلظت قبلی بر اساس وزن خمیرآبه به آن افزوده و سپس نمونه‌ها با آرد سوخاری در سه اندازه ریز، متوسط و درشت پوشش داده شدند. سرخ کردن نمونه‌ها در دستگاه سرخ‌کن، به مدت ۹۰ ثانیه در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس انجام گرفت. تعدادی از نمونه‌ها برای انجام آزمایش به‌صورت خام نگهداری شدند. نمونه‌های تهیه شده تا زمان انجام آزمایش ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انبارداری شدند.

ویسکوزیته خمیرآبه

ویسکوزیته خمیرآبه توسط دستگاه ویسکومتر (LVDV II، Brookfield، آمریکا) اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۱۰۰ گرم خمیرآبه، ۳ گرم ایزوله پروتئین سویا افزوده شد و سپس با اسپیندل شماره ۲ و سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه، میزان ویسکوزیته این خمیرآبه و ویسکوزیته خمیرآبه فاقد ایزوله پروتئین سویا اندازه گیری شد (Nagaraju & Manohar, 2000).

جذب آرد سوخاری

میزان جذب آرد سوخاری از اختلاف وزن نمونه‌های ناگت قبل و بعد از پوشش‌دهی با آرد سوخاری محاسبه شد (Maskat *et al.*, 2004).

رطوبت

مقدار رطوبت ناگت‌های مرغ با توزین نمونه‌ها قبل و پس از قرارگیری در خشک کن انجمادی به‌دست آمد.

$$\text{محتوای رطوبت}(\%) = \frac{\text{وزن اولیه نمونه} - \text{وزن نمونه پس از خشک کردن}}{\text{وزن اولیه نمونه}} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

افت پخت

نمونه‌های ناگت قبل و بعد از سرخ شدن (دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ ثانیه) توزین شد و درصد افت پخت محاسبه گردید (Nayak *et al.*, 2015).

(۳) ۱۰۰ × (وزن ناگت سرخ شده – وزن ناگت خام) = افت پخت

تخلخل

به‌منظور ارزیابی تخلخل، تصویر نمونه‌های ناگت با استفاده از دستگاه اسکنر تهیه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Image J ورژن ۴۷،۱، تصویر به حالت سیاه و سفید تبدیل شد. نقاط سیاه رنگ نشان‌دهنده خلل و فرج و نقاط سفید نشان‌دهنده قسمت‌های بدون تخلخل بودند. برای تعیین حد آستانه از الگوریتم اتسو[1] استفاده شد و به این ترتیب میزان تخلخل بر اساس درصد محاسبه شد (Castleman, 1996).

جذب روغن

پس از اندازه‌گیری چربی نمونه‌های ناگت خام و سرخ شده به روش AOAC (۲۰۰۷)، درصد روغن جذب شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

(۴) ۱۰۰×درصد روغن نمونه خام/(درصد روغن نمونه سرخ شده– درصد روغن نمونه خام) = درصد جذب روغن

نفوذ روغن

به‌منظور ارزیابی میزان نفوذ روغن از سطح ناگت به لایه‌های داخلی، ابتدا به ازای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر روغن، ۱ میلی‌لیتر بتاکاروتن محلول در روغن، به روغن سرخ‌کردنی افزوده شد و نمونه‌های ناگت خام به مدت ۹۰ ثانیه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در این روغن سرخ شدند. سپس با ایجاد برش عرضی، تصویر نمونه‌های ناگت با استفاده از دستگاه اسکنر تهیه شد و با استفاده از نرم‌افزار ایمیج جی ورژن ۱.۴۷، سطح کل ناگت و سطح قسمتی از ناگت که روغن نفوذ نکرده بود اندازه‌گیری شد و میزان نفوذ روغن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{میزان نفوذ روغن} = \frac{\text{سطح کل ناگت} - \text{سطح ناحیه نفوذ نکرده روغن}}{\text{سطح کل ناگت}} \times ۱۰۰ \qquad (۶)$$

رنگ

رنگ سطح خارجی ناگت‌های سرخ شده، با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Nippon Denshoku، ژاپن) اندازه‌گیری شد (Tamsen *et al.*, 2018).

بافت ناگت

بررسی پروفایل بافت ناگت مرغ با دستگاه سنجش بافت (سنتام، ایران) انجام شد. ابتدا نمونه‌ای با قطر ۱ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر تهیه شد و از پروبی با قطر ۲/۵ سانتی‌متر و سرعت ۰/۸ میلی‌متر در ثانیه به‌منظور فشردن نمونه استفاده گردید. برای انجام این آزمون، درصد فشردگی ۵۰٪، تعداد سیکل ۲ عدد، سل بارگذار ۵–۵۰ کیلوگرم و Trigger force ۰/۰۵ نیوتن اعمال شد. از پروفیل به‌دست آمده، پارامترهای سفتی، پیوستگی میان بافتی، قابلیت ارتجاع، میزان صمغی بودن و قابلیت جویدن استخراج گردید (Fernández-López *et al.*, 2006).

1 Otsu

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در نهایت برای ارزیابی نتایج از آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی استفاده گردید. آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا

در بین ویژگی‌های عملکردی متنوع هیدروکلوئیدها یکی از ویژگی‌های مهم و قابل توجه آن‌ها توانایی جذب و نگهداری آب به دلیل داشتن گروه‌های آب دوست در ساختارشان است (Holownia *et al*., 2000). قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا در حالت جذب لحظه‌ای ۲/۵۱٪±۶۶/۵۳ و جذب آهسته (پس از سه ساعت) ۲/۱۷٪±۱۵۵/۶۹ به‌دست آمد. بر اساس نتایج، ایزوله پروتئین سویا می‌تواند به محض قرار گرفتن در معرض رطوبت حدود ۶۶٪ از آن را جذب کند که نشان‌دهنده قابلیت جذب رطوبت خروجی از محصول به هنگام فرایند سرخ کردن است. زمانی که فرصت بیشتری به این هیدروکلوئید برای جذب آب داده شد، قابلیت جذب آب آن به میزان قابل توجهی افزایش یافت. بدین ترتیب با اضافه کردن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه، زمان کافی برای جذب آب فراهم می‌گردد. جذب آب به‌وسیله رشته‌های پروتئین، آب ازاد موجود در محیط را کاهش داده و بدین ترتیب ویسکوزیته خمیرآبه به شدت افزایش می‌یابد. این افزایش ویسکوزیته به جذب بیشتر آرد سوخاری کمک خواهد نمود.

ویسکوزیته خمیرآبه

بر اساس نتایج به‌دست آمده افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست اثر معنی‌داری بر افزایش ویسکوزیته داشته باشد، به‌طوری که ویسکوزیته خمیرآبه را از ۵۵ cp به ۸۰ cp افزایش داد. این تغییر ویسکوزیته می‌تواند در جذب مقدار بیشتری آرد سوخاری مؤثر باشد.

میزان جذب آرد سوخاری

بر اساس شکل ۱ با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، از نظر وزنی مقدار آرد سوخاری بیشتری روی سطح ناگت‌ها قرار گرفت. این اثر را می‌توان به کاهش نسبت سطح به حجم با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری مرتبط دانست. همچنین ذرات آرد سوخاری درشت بهتر در خمیرآبه فرو می‌روند و جذب می‌شوند. اما ذرات آرد سوخاری ریز پوشش یکنواخت‌تری ایجاد می‌کنند (Owens, 2010).

همچنین نتایج نشان داد افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست میزان جذب آرد سوخاری را نسبت به سایر تیمارها افزایش دهد که به نظر می‌رسد به دلیل افزایش ویسکوزیته و چسبندگی خمیرآبه باشد. Hsia و همکاران (۱۹۹۲)، گزارش کردند که با افزایش ویسکوزیته و چسبندگی خمیرآبه، مقدار وزنی لایه سوخاری افزایش می‌یابد.



شکل ۱- مقایسه مقدار جذب آرد سوخاری در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.
حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<0.05$).

رطوبت

براساس شکل ۲، بیشترین محتوای رطوبت در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز مشاهده شد. Maskat و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی‌های میکروسکوپی نشان دادند که بین ذرات آرد سوخاری با اندازه ریز به مقدار بیشتری در خمیرآبه فرو رفته که موجب تشکیل پوشش یکنواخت و متراکم‌تری روی خمیرآبه می‌شود. فرو رفتن ذرات آرد سوخاری در خمیرآبه، جذب آب توسط آن‌ها را تسهیل می‌سازد. این درحالی است که با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، این ذرات کمتر در لایه خمیرآبه وارد شده و پوشش‌های غیرپیوسته‌تری ایجاد می‌شود. بنابراین آزاد شدن رطوبت به هنگام استفاده از آرد سوخاری درشت بیشتر از زمانی است که از آرد سوخاری با اندازه ذرات ریز استفاده می‌شود. علاوه بر این ، یکی از عواملی که می‌تواند بر میزان جذب رطوبت ذرات آرد سوخاری تأثیر بگذارد ، نسبت سطح به حجم این ذرات است (Suderman *et al.*, 1983). ذرات آرد سوخاری ریز با نسبت سطح به حجم بیشتر در مقایسه با ذرات درشت می‌توانند رطوبت بیشتری را جذب کنند. این عامل ممکن است باعث افزایش رطوبت ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با ذرات آرد سوخاری ریز شود.

استفاده از هیدروکلوئیدها در لایه سوخاری می‌تواند موجب حفظ بیشتر محتوای رطوبتی در ناگت‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد شود (شکل ۲).

همان‌گونه که در قسمت قبل اشاره شد، ایزوله پروتئین سویا دارای قابلیت جذب آب بالایی است که می‌تواند به هنگام فرایند سرخ شدن مانع از خروج رطوبت گردد. لذا سبب افزایش محتوای رطوبتی ناگت‌ها شود.افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری ریز توانست میزان رطوبت نمونه‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد اما ترکیب این هیدروکلوئید با آرد سوخاری متوسط و درشت کمترین اثر را بر محتوای رطوبتی نمونه‌ها داشت (شکل ۲). این احتمال وجود دارد که با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری و ایجاد پوشش یکنواخت بر روی سطح، از خروج رطوبت جلوگیری شده و فرصتی برای جذب رطوبت توسط ایزوله پروتئین سویا فراهم شود.

نتایج نشان داد استفاده از ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری موجب افزایش قابل توجه محتوای رطوبتی ناگت نسبت به زمانی شد که این ترکیب به خمیرآبه افزوده شد (شکل ۲). Kim و همکاران (۲۰۱۱) با افزودن دو هیدروکلوئید به قطعات سیب‌زمینی نشان دادند که میزان افزایش دما در قطعات پوشش داده شده با هیدروکلوئید پس از غوطه‌وری در روغن داغ کمتر از نمونه‌های شاهد است. بنابراین، دمای سطح در زمان‌های یکسان سرخ کردن در نمونه‌های پوشش داده شده کمتر از نمونه‌های شاهد است، که میزان تبخیر را کاهش خواهد داد.



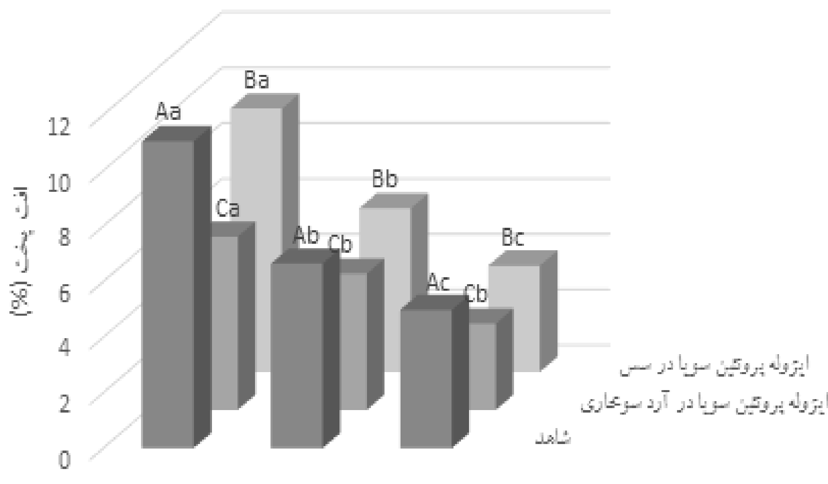
شکل ۲- مقایسه محتوای رطوبت در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.
حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<0/05$).

علاوه بر این، انتقال حرارت از روغن به ماده غذایی روی سطح غذا حباب بخار آب ایجاد می‌کند. با افزودن هیدروکلوئیدها به سطح محصول، حباب بخار آب بیشتری تولید می‌شود که می‌تواند یک لایه مقاوم در برابر انتقال حرارت را تشکیل دهد (Costa *et al*., 1999). این در حالی است که حضور ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه ممکن است در تغییر درجه حرارت لایه سوخاری تأثیر نداشته باشد که می‌تواند سرعت انتقال حرارت به خمیرآبه را افزایش دهد. بنابراین، انتقال رطوبت از خمیر به لایه سوخاری و سپس به روغن سرخ کردنی افزایش می‌یابد

افت پخت

در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز، افت پخت بیشتری مشاهده شد و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری میزان افت پخت کاهش یافت (شکل ۳). در محصولات سوخاری، افت پخت باید به‌عنوان تابعی از خروج رطوبت از محصول، میزان ریزش آرد سوخاری و مقدار جذب روغن در نظر گرفته شود (Saguy, 1995). با توجه به نتایج، اگرچه میزان جذب روغن در نمونه‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز نسبت به سایر تیمارها کمتر و محتوای رطوبتی در آن‌ها بیشتر بود، با این حال بیشترین افت پخت در این تیمارها به‌دست آمد (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری، میزان ریزش آرد سوخاری افزایش یافته و نه تنها تاثیر منفی بر افت پخت دارد بلکه می‌تواند عملکرد سرخ‌کن‌های صنعتی را مختل سازد.

استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری، افت پخت را کاهش داد. ریزش آرد سوخاری بیشتر در مراحل اولیه سرخ کردن اتفاق می‌افتد که در آن تبخیر ناگهانی رطوبت می‌تواند اتصال ضعیف آرد سوخاری از سطح محصول را بشکند (Maskat *et al*., 2005). کاهش تبخیر آب و مهاجرت رطوبت به دلیل قابلیت جذب آب ایزوله پروتئین سویا و همچنین کاهش مقدار ریزش آرد سوخاری از سطح ناگت به دلیل توانایی تشکیل ژل‌های چسبنده و فرو رفتن آرد سوخاری در این لایه از دلایل احتمالی کاهش افت پخت در نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا است. از آنجایی که این ترکیب می‌تواند چسبندگی و قوام زیادی ایجاد نموده و از خروج رطوبت جلوگیری نماید، استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه می‌تواند میزان ریزش آرد سوخاری را به شدت کاهش دهد. هرچند، مقایسه افت پخت ناگت‌های مرغ به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه نشان می‌دهد میزان افت پخت در ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری کمتر از ناگت‌های دارای این هیدروکلوئید در خمیرآبه بود که می‌تواند به حفظ رطوبت در لایه مرزی و افزایش قابلیت اتصال ذرات آرد سوخاری در حضور ایزوله پروتئین سویا مربوط باشد



شکل ۳- مقایسه افت پخت در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.

حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<0/05$).

تخلخل

مکانیسم تشکیل تخلخل هنگام سرخ کردن توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. Pinthus و همکاران (۱۹۹۵) پیشنهاد کردند که در حین سرخ کردن، آب از قسمت‌های داخلی به سطح ماده غذایی حرکت کرده و سپس به صورت بخار از سطح تبخیر می‌شود. با این حال، تمام رطوبت نمی‌تواند از سطح تبخیر شود. مقداری از آب در حفرات به دام افتاده و با تخریب دیواره حفرات، موجب افزایش تخلخل می‌شود.

همانگونه که در شکل ۴ می‌توان مشاهده نمود با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری از میزان تخلخل کاسته شد. تخلخل رابطه مستقیمی با خروج رطوبت دارد (Ziaiifar *et al.*, 2010). همان‌طور که قبلا نیز ذکر شد، آرد سوخاری با اندازه ریز قادر به ایجاد پوششی یکنواخت در سطح ناگت است. تشکیل این پوشش یکنواخت به‌عنوان مانعی در برابر خروج زیاد رطوبت عمل کرده و در نتیجه میزان تخلخل را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، استفاده از ایزوله پروتئین سویا در خمیرآبه و سوخاری موجب کاهش تخلخل نسبت به نمونه‌های شاهد شد که به دلیل قابلیت جذب و حفظ مقادیر بیشتر آب توسط این هیدروکلوئید و کاهش خروج رطوبت است. ضیائی‌فر و همکاران (۲۰۱۰)، دریافتند که در دماهای بالاتر سرخ کردن، آب با سرعت بیشتری تبخیر شده و تخلخل افزایش می‌یابد (Ziaiifar *et al.*, 2010). همانگونه که قبلا اشاره شد افزودن هیدروکلوئید به لایه پوشش‌دهنده می‌تواند دمای سطحی و در نتیجه افت رطوبت را کاهش دهد. بنابراین در ناگت‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا تخلخل کمتری مشاهده می‌شود.

با مقایسه میزان تخلخل ناگت‌های مرغ حاوی ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری و خمیرآبه می‌توان دریافت که استفاده از این ترکیب در لایه سوخاری در کاهش میزان تخلخل مؤثرتر است (شکل ۴). ایزوله پروتئین سویا با جلوگیری از حذف رطوبت، میزان تخلخل را کاهش می‌دهد. توجه به این نکته ضروری است که حضور هیدروکلوئید در لایه مرزی و جایی که تبادل جرم به شدت انجام می‌گیرد تاثیر قابل توجهی بر کاهش خروج رطوبت و در نتیجه ایجاد حفرات در ناگت خواهد داشت.



شکل ٤- مقایسه تخلخل در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<0/05$).

میزان جذب روغن

بیشترین جذب روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری درشت و کمترین جذب روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد (شکل ۵) که می‌تواند به دلیل پوشش‌دهی یکنواخت‌تر و حفظ رطوبت بیشتر ذرات ریز نسبت به ذرات متوسط و درشت باشد. یکی از مکانیسم‌های جذب روغن، تئوری جایگزینی آب است که بر اساس آن حین فرایند سرخ کردن، آب به بخار تبدیل شده و خلل و فرجی را در بافت ماده غذایی ایجاد می‌کند که می‌تواند با روغن پر شود و بنابراین با کاهش خروج رطوبت، جذب روغن کاهش خواهد یافت (Rice *et al.*, 1989). با توجه به نتایج حاصل از بررسی محتوای رطوبت (شکل ۲)، ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز دارای رطوبت بیشتری بودند که نشان‌دهنده خروج کمتر رطوبت به هنگام سرخ

کردن و همچنین کاهش فضاهای خالی و خلل و فرج برای نفوذ روغن است.

افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه نیز به همان دلایل ذکر شده، توانست جذب روغن را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. استفاده از هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون خمیرآبه موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب و هیدروکلوئیدها شده و با افزایش حفظ رطوبت، جذب روغن را کاهش می‌دهد (Akdeniz *et al*., 2006). همچنین ایجاد پیوندهای عرضی و تشکیل ژل‌های حرارتی، تعداد کمی حفرات بزرگ با فشار مویینه کم به‌وجود می‌آورد که مقدار کمی روغن در این حفرات به دام می‌افتد (Mellema, 2003).

به‌کار بردن ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری، تاثیر بیشتر و قابل ملاحظه‌تری در کاهش جذب روغن داشت (شکل۵). افزایش ضخامت پوسته، کاهش خروج رطوبت و کاهش تخلخل از دلایل اصلی تاثیر بر جذب روغن به هنگام استفاده از این هیدروکلوئید در لایه سوخاری هستند.



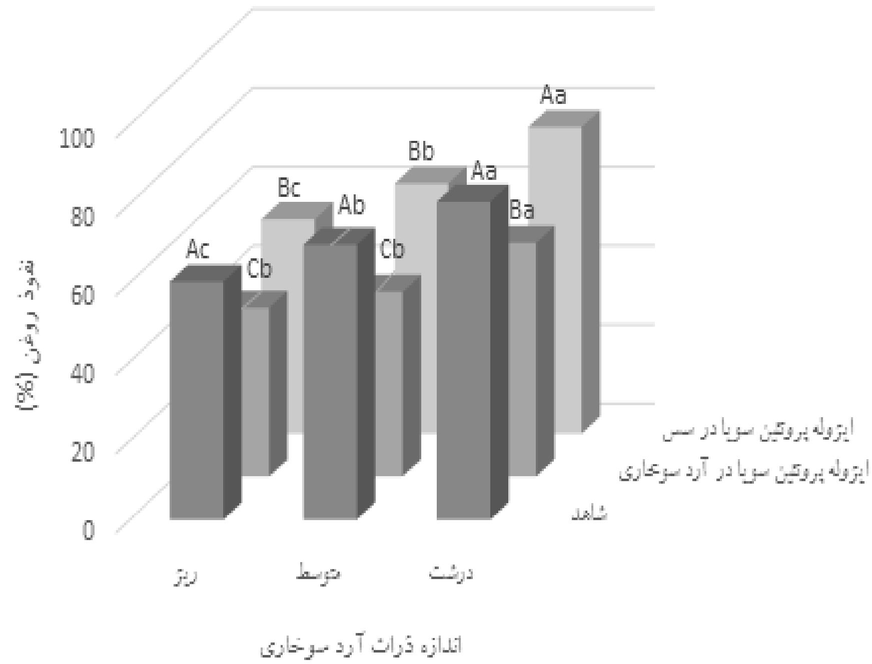
شکل ۵- مقایسه جذب روغن در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.

حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<0/05$).

نفوذ روغن

از آنجایی که به هنگام فرایند سرخ کردن ساختارهای متخلخلی تشکیل می‌شود که روغن می‌تواند در آن‌ها نفوذ کند، با افزایش اندازه این حفرات، روغن می‌تواند به‌راحتی خارج شده و میزان جذب روغن کاهش یابد. بنابراین ضروری است که علاوه بر اندازه گیری جذب روغن، میزان نفوذ روغن به بافت ماده غذایی نیز اندازه‌گیری شود.

طبق شکل ۶، هم در حالت افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری و هم به خمیرآبه، کمترین میزان نفوذ روغن در ناگت‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد آرد سوخاری ریز به علت پوشش‌دهی یکنواخت‌تر، حفظ رطوبت بیشتر و کاهش تخلخل به کاهش نفوذ روغن کمک کرده است و با افزایش اندازه ذرات به دلیل پوشش‌دهی غیریکنواخت، خروج رطوبت بیشتر و در نتیجه با به‌وجود آمدن خلل و فرج بیشتر میزان نفوذ روغن به داخل بافت افزایش یافته است. در بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده با ایزوله پروتئین سویا، کمترین میزان نفوذ روغن در ناگت‌های تیمار شده با ایزوله پروتئین سویا به‌دست آمد. ظرفیت نگهداری آب زیاد این هیدروکلوئید، حفظ رطوبت در داخل بافت (شکل ۱) و کاهش میزان تخلخل (شکل ۴) می‌تواند در کاهش نفوذ روغن مؤثر باشد. در بررسی میزان نفوذ روغن در ناگت‌های مرغ به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه، اختلاف قابل توجهی مشاهده گردید. بر این اساس میزان نفوذ روغن با افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری به‌صورت معنی‌داری کمتر بود (شکل ۶). در واقع، حضور این هیدروکلوئید در لایه سوخاری با جلوگیری از خروج رطوبت و کاهش انتقال جرم، میزان نفوذ روغن را به میزان قابل توجهی کاهش داد.



شکل ٦- مقایسه نفوذ روغن در ناگت‌های مرغ هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه.
حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p<۰/۰۵$).

رنگ

ناگت‌های پوشش داده شده با اندازه ذرات ریز، روشنایی بیشتری داشتند و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری میزان روشنایی کاهش یافت (جدول ۱). علت تفاوت در شدت روشنایی را به شکست نور در حد فاصل ذرات آرد سوخاری نسبت داد که با افزایش اندازه ذرات، پراکنش نور بیشتر رخ داده و رنگ تیره‌تر خواهد شد.

جدول ۱- رنگ ناگت‌های مرغ تهیه شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری و به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه

نوع نمونه	اندازه ذرات آرد سوخاری	محل افزودن هیدروکلوئید	L* value	a* value	b* value
شاهد	ریز	-	۴۶/۱۱ ± ۰/۵۵^{Ba}	۱۶/۱۳ ± ۰/۳۳^{Bb}	۳۳/۴۵ ± ۰/۴۱^{Aa}
	متوسط	-	۳۷/۸۷ ± ۱/۸۳^{Cb}	۱۹/۳۸ ± ۱/۰۴^{Aa}	۳۰/۹۴ ± ۰/۴۳^{Bb}
	درشت	-	۳۵/۹۷ ± ۲/۰۲^{Bb}	۱۳/۶۹ ± ۰/۱۵^{Cc}	۲۷/۴۶ ± ۱/۷۲^{Bc}
حاوی ایزوله پروتئین سویا	ریز	آرد سوخاری	۴۸/۹۲ ± ۱/۲۳^{Aa}	۱۷/۹۸ ± ۰/۱۹^{Aa}	۳۵/۲۲ ± ۰/۸۴^{Aa}
		خمیرآبه	۴۸/۳۸ ± ۰/۳۹^{Aa}	۱۵/۵۹ ± ۰/۷۰^{Bc}	۳۳/۵۹ ± ۱/۳۹^{Aa}
	متوسط	آرد سوخاری	۴۷/۴۹ ± ۰/۳۵^{Aa}	۱۴/۴۵ ± ۰/۷۰^{Bb}	۳۳/۶۷ ± ۰/۱۲^{Ab}
		خمیرآبه	۴۲/۴۵ ± ۱/۰۱^{Bb}	۲۰/۵۱ ± ۰/۸۷^{Aa}	۲۹/۴۳ ± ۰/۹۴^{Bb}
	درشت	آرد سوخاری	۴۱/۱۶ ± ۰/۱۳^{Ab}	۱۵/۱۹ ± ۰/۳۱^{Bb}	۳۰/۰۵ ± ۰/۰۴^{Ac}
		خمیرآبه	۴۰/۶۶ ± ۴/۰۰^{Ab}	۱۸/۵۴ ± ۱/۶۷^{Ab}	۲۸/۰۱ ± ۳/۵۲^{ABb}

حروف بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p< ۰/۰۵$).

نکته قابل تامل در ناگت‌های مرغ سرخ شده، افزایش شدت روشنایی نمونه‌های ناگت در حضور ایزوله پروتئین سویا است. پوشش‌دهی ناگت‌ها با ایزوله پروتئین سویا موجب افزایش شدت قرمزی در آرد سوخاری‌های ریز و درشت شد که این پدیده را می‌توان به دلیل کاراملیزاسیون در حضور این هیدروکلوئید دانست. همچنین با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری از شدت قرمزی نمونه‌ها کاسته شد. بر اساس جدول ۱ با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری از میزان زردی کاسته شد. در بررسی اثر هیدروکلوئید بر رنگ مشخص شد، ناگت‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا بیشترین میزان زردی و ناگت‌های فاقد هیدروکلوئید کمترین میزان زردی را داشتند. به‌نظر می‌رسد این هیدروکلوئید با شرکت در واکنش‌هایی مانند کاراملیزاسیون و مایلارد سبب افزایش زردی شده است

آنالیز پروفیل بافتی

براساس نتایج، بیشترین میزان سفتی در ناگت‌های مرغ پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز مشاهده شد و با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری این خصوصیت کاهش یافت (جدول ۲). Maskat و Kerr (۲۰۰۴) با بررسی میکروسکوپ الکترونی ناگت‌های تولید شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری نشان دادند که به هنگام استفاده از آرد سوخاری با اندازه ذرات ریز، شبکه پیوسته‌ای بین لایه سوخاری و خمیرآبه شکل گرفت. در پوشش‌هایی که با اندازه ذرات متوسط تهیه شدند، ذرات آرد سوخاری قابل مشاهده تر بود و زمانی که از آرد سوخاری با اندازه ذرات درشت استفاده شد، شبکه پیوسته‌ای مشاهده نشد و به‌جای آن ساختارهایی تشکیل شد که ذرات درشت آرد سوخاری را به یکدیگر متصل می‌کرد. آن‌ها این تفاوت را به میزان ترکیب ذرات آرد سوخاری و خمیرآبه نسبت دادند. در واقع به هنگام پوشش‌دهی ناگت با خمیرآبه و سوخاری و سپس سرخ کردن، آرد سوخاری با اندازه ذرات ریز، آب بیشتری جذب کرده و در خمیرآبه فرو می‌رود تا پوششی یکنواخت به‌وجود آورد. فرایند مشابهی در آرد سوخاری‌های ریز و درشت اتفاق می‌افتد اما میزان ذراتی که در خمیرآبه فرو می‌روند کمتر است. با توجه به اینکه آرد سوخاری ریز می‌تواند در خمیرآبه فرو برود و لایه پیوسته‌ای را تشکیل دهد، بنابراین با کاهش اندازه ذرات بر میزان سفتی ناگت‌ها افزوده خواهد شد. همچنین Mohamed و همکاران (۱۹۹۸) مشاهده کردند که هرچه محتوای روغن کاهش یابد، میزان سفتی بافت محصولات سرخ شده افزایش خواهد یافت. با نگاهی به نتایج حاصل از محتوای چربی می‌توان دریافت که محتوای چربی در نمونه‌های پوشش داده شده با آرد سوخاری ریز به صورت معنی‌داری کمتر از سایر نمونه‌هاست که خود می‌تواند موجب افزایش سفتی گردد.

جدول ۲- ویژگی‌های بافتی ناگت‌های مرغ تهیه شده با اندازه‌های مختلف آرد سوخاری و به هنگام استفاده از ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری و خمیرآبه

نوع نمونه	اندازه ذرات آرد سوخاری	محل افزودن هیدروکلوئید	سفتی (نیوتن)	قابلیت ارتجاع (میلی‌متر)	پیوستگی میان بافتی	صمغی بودن (گرم)	قابلیت جویدن (گرم×میلی متر)
شاهد	ریز	–	۶۳/۳۱ ± ۲/۴۷^{Aa}	۰/۶۳ ± ۰/۰۲^{Aa}	۰/۴۵ ± ۰/۰۳^{Ab}	۲۶/۹۵ ± ۰/۴۶^{Ab}	۱۷/۶۶ ± ۰/۴۷^{Aa}
	متوسط	–	۵۴/۳۲ ± ۲/۵۱^{Ab}	۰/۶۴ ± ۰/۰۳^{Aa}	۰/۵۲ ± ۰/۰۲^{Aa}	۲۸/۴۴ ± ۰/۳۴^{Aa}	۱۸/۱۵ ± ۰/۹۴^{Aa}
	درشت	–	۵۱/۱۳ ± ۳/۶۴^{Ac}	۰/۶۵ ± ۰/۰۳^{Aa}	۰/۵۲ ± ۰/۰۱^{Aa}	۲۵/۲۹ ± ۰/۶۵^{Ac}	۱۷/۵۸ ± ۱/۱۱^{Aa}
ایزوله پروتئین سویا	ریز	آرد سوخاری	۶۴/۳۹ ± ۲/۳۷^{Aa}	۰/۶۲ ± ۰/۰۱^{Ab}	۰/۴۴ ± ۰/۰۱^{Ab}	۲۷/۵۶ ± ۱/۳۲^{Aa}	۱۶/۷۲ ± ۰/۰۳^{Aab}
		خمیرآبه	۳۳/۸۳ ± ۰/۳۷^{Ba}	۰/۶۴ ± ۰/۰۴^{Aa}	۰/۴۵ ± ۰/۰۱^{Aa}	۱۴/۵۷ ± ۰/۲۱^{Ba}	۹/۱۱ ± ۰/۱۳^{Ba}
	متوسط	آرد سوخاری	۵۴/۱۵ ± ۱^{Ab}	۰/۶۶ ± ۰/۰۱^{Aa}	۰/۴۵ ± ۰/۰۲^{Bb}	۲۷/۷۲ ± ۰/۱۷^{Aa}	۱۷/۵۶ ± ۱/۰۲^{Aa}
		خمیرآبه	۳۰/۰۲ ± ۱/۹۳^{Bab}	۰/۵۸ ± ۰/۰۱^{Bb}	۰/۴۵ ± ۰/۰۳^{Ba}	۱۳/۴۴ ± ۰/۴۵^{Ba}	۷/۸۸ ± ۰/۰۳^{Bb}
	درشت	آرد سوخاری	۴۹/۸۸ ± ۱/۰۰^{Ac}	۰/۶۶ ± ۰/۰۱^{Aa}	۰/۴۷ ± ۰/۰۱^{Ba}	۲۳/۶۳ ± ۰/۰۸^{Bb}	۱۵/۶۷ ± ۰/۳۶^{Bb}
		خمیرآبه	۲۷/۷۴ ± ۰/۸۳^{Bb}	۰/۵۳ ± ۰/۰۸^{Bc}	۰/۳۹ ± ۰/۱^{Cb}	۱۱/۳۴ ± ۰/۷۷^{Cb}	۵/۸۶ ± ۰/۳۲^{Cc}

حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ایزوله پروتئین سویا و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین اندازه ذرات آرد سوخاری است ($p < ۰/۰۵$).

بر اساس جدول ۲، در حالتی که ایزوله پروتئین سویا در لایه سوخاری استفاده شد سفتی بافت بیشتری مشاهده شد که ممکن است به ارتباط معکوس بین سفتی بافت و میزان تخلخل بستگی داشته باشد، بنابراین در ناگت‌های مرغی که این هیدروکلوئید به لایه سوخاری اضافه شد به دلیل تخلخل کمتر، بافت سفت‌تر و متراکم‌تری مشاهده گردید. Mah و همکاران (۲۰۰۹) با غوطه‌ور کردن پاته مرغ سوخاری در محلول ایزوله پروتئین آب پنیر نتایج مشابهی را یافتند. آن‌ها این افزایش سفتی را به افزایش ضخامت پوسته مرتبط دانستند.

با توجه به نتایج قابلیت ارتجاع، در ناگت‌های شاهد اندازه ذرات آرد سوخاری اثری بر قابلیت ارتجاع نداشت، اما در ناگت‌های حاوی ایزوله

پروتئین سویا در آرد سوخاری ، با کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری از قابلیت ارتجاع کاسته شد. در حالی که به هنگام افزودن این هیدروکلوئید به لایه، کاهش اندازه ذرات آرد سوخاری توانست قابلیت ارتجاع را افزایش دهد. در توجیه این مشاهدات می‌توان به برهمکنش بین پروتئین و پلی‌ساکارید اشاره نمود. استفاده از ایزوله پروتئین سویا درصد پروتئین را در خمیرآبه افزایش می‌دهد. زمانی که آرد سوخاری ریز در لایه بیرونی ناگت به‌کار می‌رود، آرد سوخاری می‌تواند در خمیرآبه فرو رفته و در برهمکنش‌های پروتئین- پلی‌ساکارید شرکت نماید. این واکنش، شبکه ژل به‌وجود آمده در خمیرآبه را تقویت کرده و قابلیت ارتجاع را افزایش می‌دهد.

پیوستگی میان بافتی در ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا، تحت تاثیر اندازه ذرات قرار نگرفت و تنها در ناگت‌های شاهد با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، بر پیوستگی میان بافتی افزوده شد (جدول ۲). Lin و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که با کاهش رطوبت بر پیوستگی میان بافتی افزوده می‌شود. مقایسه نتایج میزان رطوبت و پیوستگی میان بافتی نیز نتایج مشابهی را نشان داد. به‌نظر می‌رسد با کاهش رطوبت، رشته‌های پروتئینی در ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر موجب افزایش پیوستگی میان بافتی می‌شوند. افزودن ایزوله پروتئین سویا هم به آرد سوخاری و هم به خمیرآبه موجب کاهش پیوستگی میان بافتی نسبت به ناگت‌های شاهد گردید.

بر اساس جدول ۲، با افزایش اندازه ذرات آرد سوخاری، میزان صمغی بودن کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد چندین عامل از جمله محتوای چربی و رطوبت بر این ویژگی تاثیرگذار هستند. با افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری اختلاف معنی‌داری بین ویژگی صمغی بودن این نمونه‌ها با ناگت‌های شاهد مشاهده نشد، اما ترکیب این هیدروکلوئید با خمیرآبه توانست میزان صمغی بودن را نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش دهد. چندین عامل از جمله مقدار چربی و رطوبت محصول و قابلیت تشکیل ژل ایزوله پروتئین سویا می‌توانند بر میزان صمغی بودن مؤثر باشند.

قابلیت جویدن تحت تاثیر اندازه ذرات قرار نگرفت. همچنین، بین قابلیت جویدن ناگت‌های مرغ شاهد و ناگت‌های محتوی ایزوله پروتئین سویا در آرد سوخاری تفاوت معنی داری مشاهده نشد، اما افزودن ایزوله پروتئین سویا به خمیرآبه توانست قابلیت جویدن را نسبت به ناگت‌های مرغ شاهد کاهش دهد (جدول ۲). ایجاد بافت نرم در خمیرآبه به واسطه حضور این هیدروکلوئید می‌تواند از دلایل تغییرات مشاهده شده باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده نشان داد، اندازه ذرات آرد سوخاری می‌تواند تاثیر به‌سزایی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ناگت مرغ داشته باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، استفاده از آرد سوخاری ریز می‌تواند محاسن اقتصادی و تکنولوژیک خاصی به همراه داشته باشد به‌گونه‌ای که به میزان وزنی کمتری از این آرد سوخاری برای پوشش‌دهی کامل ناگت نیاز است. همچنین محصولاتی که با آرد سوخاری ریز پوشش داده شده بودند محتوای رطوبت بیشتر و افت پخت و جذب روغن کمتری داشتند. روغن در این محصولات به میزان کمتری نفوذ کرده که ناشی از تخلخل کمتر ناگت‌های تولید شده با این نوع آرد سوخاری است. کلیه این ویژگی‌ها می‌تواند از نظر اقتصادی، تغذیه‌ای و کیفی بسیار مورد توجه باشد. هرچند رنگ و بافت نیز تحت تاثیر اندازه ذرات آرد سوخاری تغییر یافته و در این رابطه می‌توان به افزایش سفتی، کاهش قابلیت ارتجاع و کاهش پیوستگی میان بافتی اشاره نمود که می‌تواند به‌عنوان تغییرات نامطلوب مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر ریزش بیشتر آرد سوخاری ریز نسبت به آرد سوخاری درشت، به هنگام سرخ کردن ناگت‌های مرغ یکی از نکاتی است که صنعت را در رابطه با تمیز کردن سرخ‌کن‌ها و کاهش سریع کیفیت روغن دچار مشکل می‌سازد.

همان‌گونه که ذکر شد استفاده از هیدروکلوئیدها یکی دیگر از روش‌هایی است که می‌تواند موجب کاهش جذب روغن شود. در این تحقیق استفاده از ایزوله پروتئین سویا توانست به‌طور کلی محتوای رطوبت ناگت‌های مرغ را افزایش دهد و تاثیر به‌سزایی در کاهش افت پخت، جذب روغن، نفوذ روغن به داخل بافت و تخلخل محصول داشته باشد. این هیدروکلوئید توانست بافت و رنگ ناگت‌ها را تا حدودی تحت تاثیر قرار دهند و به‌طور خاص افزودن این هیدروکلوئید به خمیرآبه، ویژگی‌های بافتی را به شدت تغییر داد. نتایج همچنین نشان داد افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری بسیار موثرتر از افزودن آن به خمیرآبه بود. بر این اساس افزودن ایزوله پروتئین سویا به آرد سوخاری با اندازه ریز برای تولید ناگت توصیه می‌گردد.

منابع

Akdeniz, N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2006). Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering, 75*(4), 522-526.

Castleman, K. (1996). *Digital Image Processing*. Prentice Hall: Englewood Cli□s.

Costa, R. M., Oliveira, F. A., Delaney, O., & Gekas, V. (1999). Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying. *Journal of Food Engineering, 39*(3), 293-299.

Dogan, S. F., Sahin, S., & Sumnu, G. (2005). Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *European Food Research and Technology, 220*(5-6), 502-508.

Fernández-López, J., Jiménez, S., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., & Pérez-Alvarez, J. (2006). Quality characteristics of ostrich (Struthio camelus) burgers. *Meat Science, 73*(2), 295-303.

Holownia, K., Chinnan, M., Erickson, M., & Mallikarjunan, P. (2000). Quality Evaluation of Edible Film-Coated Chicken Strips and Frying Oils. *Journal of Food Science, 65*(6), 1087-1090.

Hsia, H., Smith, D., & Steffe, J. (1992). Rheological properties and adhesion characteristics of flour-based batters for chicken nuggets as affected by three hydrocolloids. *Journal of Food Science, 57*(1), 16-18.
Int, A. O. A. C. (2007). Official methods of analysis. *AOAC International*.
Kim, D. N., Lim, J., Bae, I. Y., Lee, H. G., & Lee, S. (2011). Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering, 102*(4), 317-320.
Kurt, Ş., & Kılınççeker, O. (2011). Performance optimization of soy and whey protein isolates as coating materials on chicken meat. *Poultry Science, 90*(1), 195-200.
Lin, S., Huff, H., & Hsieh, F. (2000). Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Journal of Food Science, 65*(2), 264-269.
Liu, P., Xu, H., Zhao, Y., & Yang, Y. (2017). Rheological properties of soy protein isolate solution for fibers and films. *Food Hydrocolloids, 64*, 149-156.
Mah, E., & Brannan, R. (2009). Reduction of oil absorption in deep-fried, battered, and breaded chicken patties using whey protein isolate as a postbreading dip: Effect on flavor, color, and texture. *Journal of Food Science, 74*(1), S9-S16.
Maltais, A., Remondetto, G. E., Gonzalez, R., & Subirade, M. (2005). Formation of soy protein isolate cold-set gels: Protein and salt effects. *Journal of Food Science, 70*(1), C67-C73.
Maskat, M. Y., & Kerr, W. L. (2002). Coating characteristics of fried chicken breasts prepared with different particle size breading. *Journal of Food Processing and Preservation, 26*(1), 27-38.
Maskat, M. Y., & Kerr, W. L. (2004). Effect of breading particle size on coating adhesion in breaded, fried chicken breasts. *Journal of food quality, 27*(2), 103-113.
Maskat, M. Y., Yip, H. H., & Mahali, H. M. (2005). The performance of a methyl cellulose-treated coating during the frying of a poultry product. *International Journal of Food Science and Technology, 40*(8), 811-816.
Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology, 14*(9), 364-373.
Mohamed, S., Hamid, N. A., & Hamid, M. A. (1998). Food components affecting the oil absorption and crispness of fried batter. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 78*(1), 39-45.
Myers, A. S., & Brannan, R. G. (2012). Efficacy of fresh and dried egg white on inhibition of oil absorption during deep fat frying. *Journal of Food Quality, 35*(4), 239-246.
Nagaraju, V., & Manohar, B. (2000). Rheology and particle size changes during Idli fermentation. *Journal of Food Engineering, 43*(3), 167-171.
Nayak, N., Pathak, V., Singh, V., Goswami, M., & Bharti, S. (2015). Quality of Carrageenan Incorporated Low Fat Chicken Nuggets during Refrigerated Storage at 4 ^{o} C. *Livestock Research International Journal, 3*, 7-13.
Owens, C. M. (2010). Coated poultry products. *In* Owens, C. M., Alvarado, C. Z., Sams, A. R. *Poultry Meat Processing*, pp: 227-242. CRC Press, Boca Raton..
Pinthus, E., WEINBERG, P., & Saguy, I. (1995). Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *Journal of Food Science, 60*(4), 767-769.
Rice, P., & Gamble, M. (1989). Modelling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology, 24*(2), 183-187.
Saguy, I. S. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology., 49*, 142-145,152.
Sharifimehr, S., Soltanizadeh, N., Goli, S.A.H. (2019). Physicochemical properties of fried shrimp coated with bio-nano-coating containing eugenol and Aloe vera. *LWT, 109*, 33-39.
Suderman, D. R., & Cunningham, F. E. (1983). *Batter and Breading*: AVI Pub. Co., Horwood.
Tamsen, M., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *LWT, 91*, 580-587.
Ziaiifar, A. M., Courtois, F., & Trystram, G. (2010). Porosity development and its effect on oil uptake during frying process. *Journal of Food Process Engineering, 33*(2), 191-212

Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 629-641

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۶، شماره ۵، آذر- دی ۱۳۹۹، ص.۶۴۱-۶۲۹

Evaluation the role of breading particle size and soy protein isolate on physicochemical properties of chicken nugget

M. S. Sotoudeh[1], N. Soltanizadeh[2*]

Received: 2019.08.14
Accepted: 2019.01.23

Introduction: Over the last few decades, development of the industrial life has remarkably increased the demand for consumption of ready-to-eat foods. Deep fat frying is a fast and conventional method for cooking and due to creating crispy surface, soft internal texture, desired color and taste has popularity among consumers. The main problem related to fried food products is the high oil absorption during deep fat frying that is harmful for human health and has negative effects on shelf life of the product. Therefore, the aim of this study was to investigate the role of breading particles size as well as the influence of addition of soy protein isolate in breading and batter layers on properties of chicken nugget.

Material and Methods: First, breading was divided to three particle sizes. Sieves with mesh size 40 (0.42 mm) and 60 (0.25 mm) were used for separation of small breading. Also, sieves with mesh size of 18 (1 mm) and 20 (0.84 mm) as well as 10 (2 mm) and 12 (1.68 mm) were used for preparation of breading with medium and large particle size, respectively. Three percent soy protein isolate was separately added to breading with particle size of small, medium and large and used for production of chicken nugget. Also, 3% soy protein isolate was added to batter mixture and then nuggets coated with three different breading particle size without soy protein isolate. Breading pick-up, moisture content, cooking loss, porosity, oil absorption and penetration, color and textural properties of the chicken nuggets were then evaluated.

Results and discussion: Based on the results, the coating of chicken nuggets with small breading size led to the product with the highest moisture content and lowest porosity, oil uptake, oil penetration and shear force. However, chicken nuggets coated with small breading size had the highest breading loss. After incorporation of soy protein isolate to breading, the highest hardness and lowest springiness, cohesiveness and gumminess were related to the nuggets coated with small breading size, however, chewiness was not affected by breading particle size. Breading with small particle size containing soy protein isolate caused the highest L*, a* and b* values in fried chicken nuggets. Addition of soy protein isolate to breading layer significantly caused a decrease in cooking loss, porosity, oil absorption and penetration ($p < 0.05$). These samples had higher moisture content than the control sample. After addition of soy protein isolate to batter layer, color of chicken nugget did not considerably change ($p > 0.05$). The effect of soy protein isolate on textural properties is dependent on breading particles size. Generally, the addition of this compound to batter layer decreased hardness, gumminess and chewiness; however, its effect on springiness and cohesiveness is dependent on breading particle size. The presence of soy protein isolate in batter layer increased moisture content which in turn could diminish porosity, cooking loss, oil absorption, and oil penetration ($p < 0.05$). Overall, the comparison between chicken nugget properties when soy protein isolate was added to breading or batter layer indicated that the presence of the protein in breading layer was more effective in retention of moisture, reducing of cooking loss, porosity, oil absorption and oil penetration. However, these samples had more hardness, gumminess and chewiness compared to those containing soy protein isolate in batter layer. Cohesiveness of chicken nugget containing soy protein isolate in breading was not significantly different with those produced with the compound in batter layer.

The production of chicken nugget with small breading size containing 3% soy protein isolate in batter layer was proposed for production of products with better nutritional and physicochemical properties.

Keywords: Soy protein Isolate, Chicken nugget, Breading, Batter.

1. Graduated M. SC. degree and Associate professor of Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, 84156-83111, Iran.
(*Corresponding Author Email: soltanizadeh@iut.ac.ir)